

結晶中の超音波による光回折に関する研究

著者	若月 昇
号	337
発行年	1971
URL	http://hdl.handle.net/10097/9073

氏 名（本籍）	若 月 昇 （宮城県）
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 3 3 7 号
学位授与年月日	昭和 4 7 年 3 月 2 4 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 （博士課程）電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	結晶中の超音波による光回折に関する研究
論文審査委員	（主査） 教授 菊池 喜充 教 授 稲場 文男 教授 池田 拓郎 助教授 中鉢 憲賢

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

本論文は、最近、光通信や光情報処理の分野で注目されている超高周波超音波による光回折に関して、結晶の複屈折性、旋光性あるいは弾性的異方性など、結晶の異方性に着目して行なった研究である。第 2 章では複屈折性結晶中の超音波による光回折について、ブラッグ条件と回折効率とを理論的に検討する。すなわち、まずブラッグ条件の推定に、屈折率曲面を利用する方法を提案し、結晶の使用法や超音波周波数の変化などによるブラッグ条件の変化と、複屈折性との関係を明らかにする。次に、回折効率に関しては、結晶軸の配向や、超音波と光のビーム巾などの影響を容易に解析できる理論式を導出する。第 3 章では、これらの解析方法の妥当性を実験的に確認するために行なった水晶中の超音波による光回折の実験方法と実験結果を述べる。第 4 章では

結晶の複屈折性を積極的に利用した光超音波デバイスとしての光偏向器と光フィルターに第2章の理論的解析によって得られる結果を適用し、設計の際に結晶軸の配向を適当に選べば使用する超音波の周波数を使用しやすい帯域に下げることができ、しかも回折効率が高まる可能性があることなどを明らかにする。第5章では、これまで全く研究されていなかった旋光性結晶中の超音波による光回折に着目し、まず理論的解析を行ない、次に水晶を用いて行なった実験結果が、解析結果とかなりよく一致したことを述べる。

第2章 複屈折性結晶中の超音波による光回折の理論的解析

複屈折性結晶中を一方向に伝搬する光には、一般に偏光方向が互に直交し、位相速度の異なる二つの波がある。このため、結晶中の超音波による光回折は、等方性の場合に比べて複雑になり、ブラッグ条件は、入射光および回折光に対する n_i , n_d を用いて表わすと、 $n_d \cdot \mathbf{d} = n_i \mathbf{i} \pm R \cdot \mathbf{S}$ となる。ここで、 \mathbf{i} , \mathbf{d} , \mathbf{S} は、それぞれ入射光、回折光および超音波の波面法線方向の単位ベクトルであり、 R は光の波長 λ_0 と超音波の波長 λ との比であり基準化した超音波周波数である。そこで、結晶の屈折率曲面を、超音波と光の波面法線を含む面で切断し、その曲面の切り口に超音波の進行方向を適当に書き込むと、屈折率で表わした上記のブラッグ条件を図的に求めることができる。この方法によって、単軸結晶および双軸結晶についての一般的なブラッグ条件を明ら

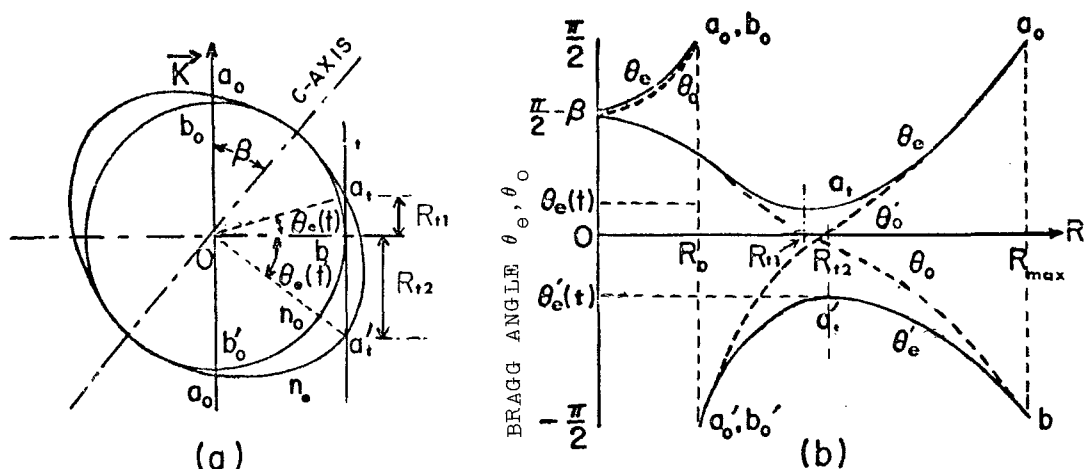


図1 屈折率曲面の切り口とブラッグ角の R による変化

かにし、結晶の複屈折性によってどのように変化するかを解析した。図1に1例として超音波と光が光軸を含む面内を伝搬する場合を掲げておく。(a)は屈折率曲面の切り口であり、(b)はRに対するブラッグ角の変化である。ところで、結晶中でブラッグ条件を満足しながら超音波と入射光とが同時に存在する領域では、歪によって生じるimpermeabilityの変化により、入射光は新たなpolarizationを誘起する。そこで回折効率の理論的な解析にあたってはこれを振動する電気双極子とみなして、そこから生じる電磁波として回折光を取扱い、超音波や光のビーム中、結晶の弾性的異方性および複屈折性などを考慮して、応用に便利な回折効率の理論式を導いた。具体的な数値計算例としては、CdS結晶の場合をとりあげている。

第3章 複屈折性結晶中の超音波による光回折の実験

ブラッグ条件や回折効率に関する解析結果を実験的に確認するために、単軸結晶として水晶を選び、波長 0.63μ のHe-Neレーザ光と、周波数800MHzまでの超音波を用いて、実験を行なった。図2は、音速5100m/secの横波超音波が光軸にそって伝搬し、光がO軸を含む面内を伝搬する場合のブラッグ条件であり、2種類のブラッグ角の存在が確認できる。図3は、x方向に伝搬する縦波超音波による回折の場合の回折効率が、超音波周波数によってどのように変化するかを測定したものである。測定結果は、いずれも理論的解析から予測される値とよく一致し、複屈折性がブラッグ回折に及ぼす影響が実験的に確認されている。

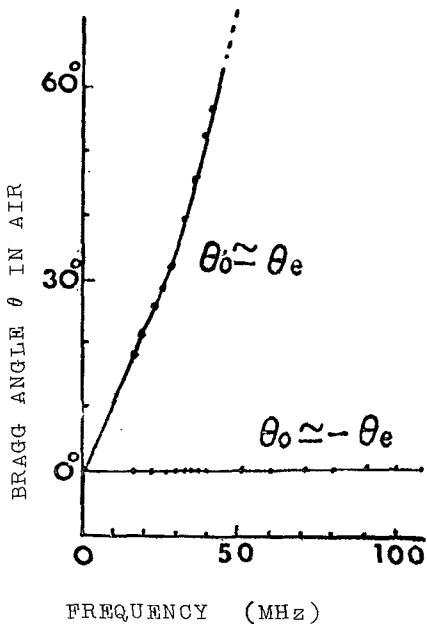
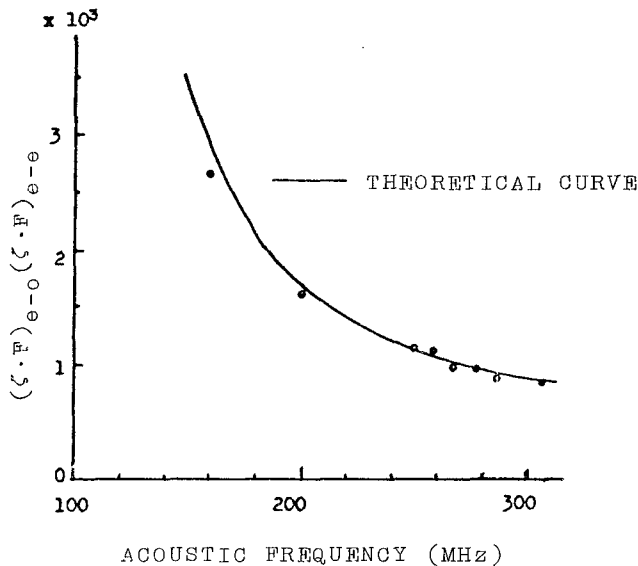


図2 水晶におけるブラッグ条件の超音波数による変化

図3 回折効率の超音波周波数による変化



第4章 複屈折性結晶中の超音波による光回折の応用

結晶の複屈折性による特異なブラッグ条件を積極的に利用して、偏向角の大きくとれる光偏向器や電氣的に同調可能な光フィルターの研究が行なわれている。しかし、従来は、光と超音波とが共に光軸に垂直な面内を伝搬する場合の研究に限られていた。そこで、前章までに得られた一般的な解析結果を適用して、使用する超音波周波数や、光超音波デバイスとしての特性を検討した。その結果、超音波の伝搬方向や光の入射方向を適当に選べば、使用する超音波周波数を実用上の有利な周波数に低下させることができることを明らかにし、超音波音場の巾と、偏向器の偏向角や、光フィルターの分解能との関係を示す。さらに、回折効率の点で、有利な結晶の使用法を明らかにするための性能指数を提案し、 α -水晶に対する計算例を示した。

第5章 旋光性結晶中の超音波による光回折

旋光性結晶中では、~~ほぼ~~光軸にそって伝搬する光が超音波によって回折される場合には、旋光性特有の現象が生じることを見出した。本章では、まず、この現象を理論的に解析するために、第3章で述べた複屈折性結晶中の取扱いに、結晶の旋光度を導入する。すなわち、結晶中で、入射光と超音波とが同時に存在する領域において、旋光性のために入射光の偏光方向が空間的に異なり、誘起される新たな polarization の大きさや向きもかわる。さらに、その

polarization を振動する電気双極子とみなし、そこから生じる電磁波として回折光を取扱う。その回折光も旋光性によって偏光方向が回転しながら相互作用領域を通過して、出射面にあらわれる。そして、出射面では、相互作用領域全体からの回折光を重畳すれば、実際の回折光の強度や偏光方向を解析できる。具体的な例として、 α -水晶中を x 方向に伝搬する超音波により、ほぼ光軸にそって伝搬する先が回折する場合をとりあげ、旋光性が回折におよぼす影響を明らかにした。なお、理論を裏付けるために行なった2, 3の実験は、理論的な予測とよく一致した。1例として、図4は横波超音波による回折の場合の入射光の偏光方向と回折光の偏光方向との関係であり、図5は縦波超音波による回折の場合の入射光の偏光方向と、回折光の偏光方向および強度との関係である。いずれも測定値が、実線で示した理論曲線と、かなりよく一致している。これらの結果から理論解析の妥当性が確認され、横波超音波による回折の場合に、トランスジューサの配置によって回折光の偏光方向が制御できることが明らかになった。

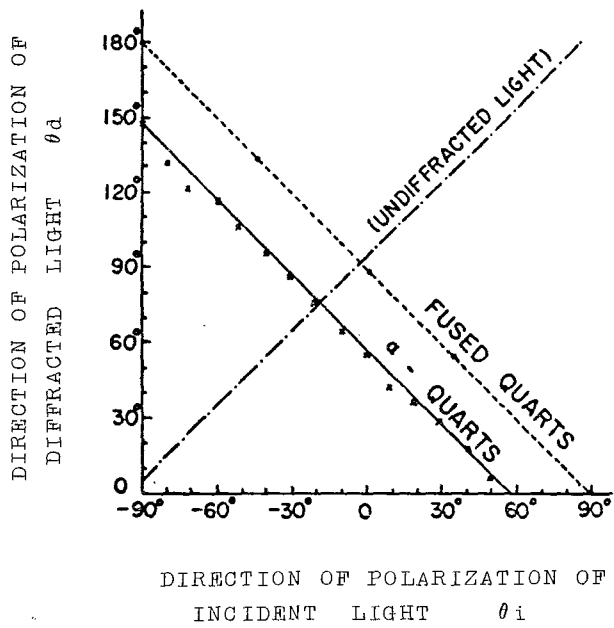


図4 入射光の偏光方向による回折光の偏光方向の変化
(横波超音波の場合)

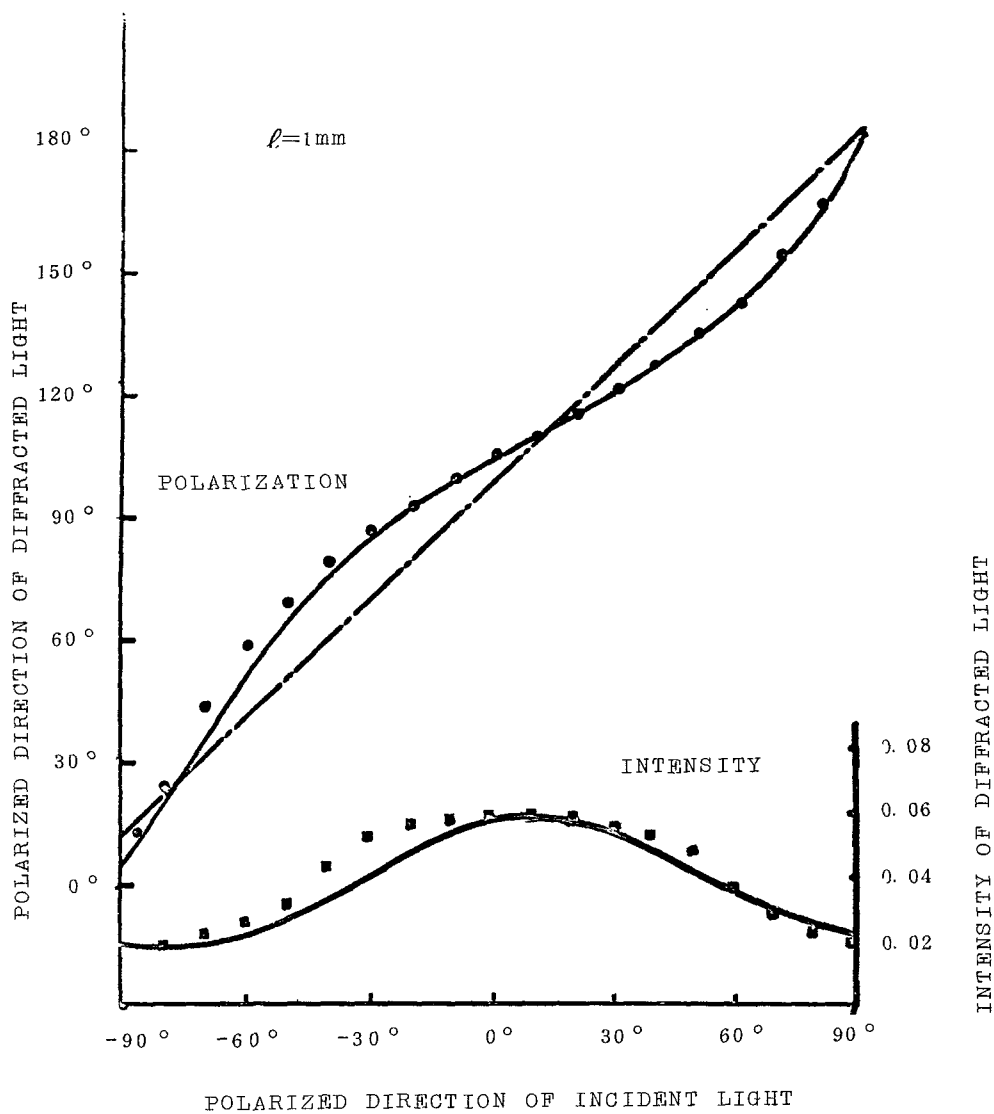


図5 入射光の偏光方向による回折光の偏光方向と強度の変化
(縦波超音波の場合)

第 6 章 結 論

本論文では、まず、複屈折性結晶中の超音波による光回折の際の一般的なブラッグ条件や回折効率を理論的に解析し、複屈折性に基づく特徴を明らかにし、水晶を用いて実験的に確認した。さらに、解析結果を光フィルターや光偏向器に適用し、具体的な設計の指針を与えた。次に、旋光性結晶中の超音波による光回折に着目し、回折光の強度や偏光方向に現われる旋光性の影響を見出し、比旋光度を導入した理論解析によって十分説明できることを明らかにした。

審 査 結 果 の 要 旨

超音波によるレーザ光の回折現象は、光通信あるいは光情報処理などの電気通信工学分野において新しい技術を提供する可能性があり、最近大いに関心が寄せられている。本論文はこの超音波による光の回折現象のうち、結晶中のブラッグ回折について、特に結晶の複屈折性および旋光性に着目して行なった研究で、全編6章より成る。

第1章は緒論で、本研究の背景と第2章以下において詳述する内容の概要を述べている。

第2章では複屈折性を有する結晶中のブラッグ条件と回折効率について詳細な解析を行なっている。特に、一般的なブラッグ条件を屈折率曲面から求める便利な方法を提案し、本現象の取り扱いを容易にしている。単軸結晶および双軸結晶について、任意の方向に伝搬する超音波の周波数とブラッグ角との関係を示し、ブラッグ条件が等方性媒質の場合に比べて著しく異なることを明らかにしている。また、回折効率については異方性結晶中の超音波および光ビームの巾を考慮に入れた解析を行ない、応用に便利な理論式を導き、CdS結晶について具体的な数値計算例を示している。

第3章では、ブラッグ条件と回折効率についての実験を述べている。実験は水晶についてHe-Neレーザ光および800 MHzまでの超音波を用いて行ない、第2章の理論解析から予測される結果とよく一致することを確認している。

第4章では、結晶の異方性による特異なブラッグ条件を利用した光超音波素子について、前章までの解析結果を適用し、種々の結晶方位と素子の特性との関係を調べ、結晶方位を適当に選べば、従来のものに比べて使用する超音波周波数帯域をUHF帯から超音波減衰の少ないVHF帯へと移行できること、およびそれとともに回折効率も向上させ得る可能性があることを明らかにした。この解析では超音波音場の巾を考慮して具体的に偏向器の偏向角や光フィルタの分解能を検討しており、さらに回折効率の面から、異方性結晶についての性能指数を導いている。これらの結果は光超音波素子の設計に有用である。

第5章は結晶の旋光性に着目した研究である。著者は水晶の光軸にほぼ平行な光ビームの超音波による回折実験において、複屈折性だけでは説明できない興味ある回折現象を見いだしたが、この現象を第2章で展開したブラッグ回折理論に旋光性を導入して解析し、実験結果をみごとに説明している。さらにこの解析と実験結果より、結晶の旋光性を利用すれば超音波ビームの位置を変えることによって回折光の偏光方向を任意に制御できることを見いだしている。これらの旋光性を取り入れた解析と結果は一つの新しい知見といえることができる。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は従来から不明確であった異方性結晶中の超音波による光のブラッグ回折について、一般的な理論解析方法を示し、本現象の特異な性質を解明し、光超音波素子の設計資料を提供するとともに、旋光性を初めてとりいれるなど、通信工学ならびに電子工学に貢献するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。